

PREMIER MINISTRE

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

5.0

DEGATS DUS AUX EXPLOSIONS NUCLEAIRES
SOUTERRAINES SUR LES HABITATIONS
ET LES EQUIPEMENTS

*par**Francis DELORT, Charles GUERRINI*

SOUS-DIRECTION DES ESSAIS

Centre d'Etudes de Bruyères-le-Chatel

Rapport CEA - R - 3749

1969

SERVICE CENTRAL DE DOCUMENTATION DU C.E.A

Ba

C.E.N.-SACLAY B.P. n°2, 91-GIF-sur-YVETTE-France

CEA-R-3749 - DELORT Francis, GUERRINI Charles

DEGATS DUS AUX EXPLOSIONS NUCLEAIRES SOUTER-
RAINES SUR LES HABITATIONS ET LES EQUIPEMENTS

Sommaire. - Les dégâts sur diverses structures, construc-
tions, habitations, équipements mécaniques et matériels
électriques provoqués par des explosions nucléaires souter-
raines dans le granite sont décrits. On a indiqué pour cha-
que type de matériel ou de construction, les distances li-
mites correspondant à un degré de gravité de dommage
observé. Ces distances ont été reliées à un paramètre ca-
ractérisant le mouvement du milieu, permettant ainsi de
généraliser les résultats obtenus dans le granite, à diffé-
rents milieux.

. / .

CEA-R-3749 - DELORT Francis, GUERRINI Charles

DAMAGE CAUSED TO HOUSES AND EQUIPMENT BY
UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS

Summary. - A description is given of the damaged caused to
various structures, buildings, houses, mechanical equipment
and electrical equipment by underground nuclear explosions
in granite. For each type of equipment or building are given
the limiting distances for a given degree of damage. These
distances have been related to a parameter characterizing
the movement of the medium ; it is thus possible to gene-
ralize the results obtained in granite, for different media.

The problem of estimating the damage caused at a

. / .

Le problème de la prévision des dégâts en zone lointaine
a été abordé.

1969

23 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

greater distance from the explosion is considered.

1969

23 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

- Rapport CEA-R-3749 -

Centre d'Etudes de Bruyères-le-Chatel
Sous-Direction des Essais

DEGATS DUS AUX EXPLOSIONS NUCLEAIRES SOUTERRAINES
SUR LES HABITATIONS ET LES EQUIPEMENTS

par

Francis DELORT, Charles GUERRINI

- Juin 1969 -

1

	Pages
RESUME	
I - INTRODUCTION	3
II - RESULTATS DES EXPLOSIONS NUCLEAIRES SOUTERRAINES AU SAHARA	3
1. Conditions d'observation	3
2. Dégâts sur les constructions de génie civil	4
a) Bâtiments	4
b) Constructions diverses	6
3. Dégâts sur les équipements mécaniques	6
a) Matériels posés sur le sol	6
b) Matériels fixés au sol ou sur les parois	6
c) Dégâts sur divers équipements	9
4. Représentation graphique des pourcentages de dégâts	9
III - COMPARAISON AVEC LES RESULTATS EXPERIMENTAUX ETRANGERS	12
IV - PREVISION DES DEGATS	12
1. Zone intermédiaire	12
2. Zone lointaine	17
V - CONCLUSION	20
REFERENCES	21

DEGATS DUS AUX EXPLOSIONS NUCLEAIRES SOUTERRAINES

SUR LES HABITATIONS ET LES EQUIPEMENTS

I - INTRODUCTION

Une partie de l'énergie libérée par une explosion nucléaire souterraine est transmise au milieu environnant sous la forme d'une onde de choc (zone proche) se transformant rapidement en une onde de compression sonique à front raide (zone intermédiaire) et devenant enfin une onde sismique se propageant dans un milieu non homogène (zone lointaine [1]). Quelle que soit la zone considérée, le passage de l'onde se traduit par un mouvement du sol qui, lorsqu'il est communiqué à des structures, est susceptible de leur causer des dégâts.

Dans le cas d'utilisations industrielles des explosifs nucléaires, la prévision de ces dommages présente un grand intérêt pour la sécurité des tirs et pour l'évaluation économique du projet.

Les études, menées lors des tirs nucléaires souterrains effectués dans un massif granitique du Sahara [2], ont permis d'obtenir des données nouvelles sur les dégâts observés à l'intérieur de galeries creusées dans le massif et des éléments concernant les effets en surface qui complètent les informations publiées par différents auteurs étrangers. L'examen des dommages a porté sur les constructions de génie civil (bâtiments, murs, radiers ...), sur les équipements mécaniques et électriques. Le domaine étudié comprend la zone intermédiaire ainsi qu'une partie peu importante de la zone lointaine.

Après avoir exposé les données recueillies au Sahara et les avoir comparées aux résultats obtenus par les expérimentateurs américains, on indique quels sont les problèmes de la prévision des dégâts pour une situation de tir donnée.

II - RESULTATS DES EXPLOSIONS NUCLEAIRES SOUTERRAINES AU SAHARA

1. Conditions d'observation :

Les structures et le matériel étudiés étaient situés :

- soit dans des galeries horizontales orientées vers le point d'explosion, dans du granite sain, localement boulonné.
- soit en surface, sur des dalles de béton coulées directement sur la roche ou parfois avec l'intermédiaire d'une mince épaisseur de sable entre le béton et la roche.

Cinq cents photographies ont été prises avant et après tir ; plus de cent observations concernaient les constructions de génie civil et autant les équipements mécaniques et électriques ...

Dans le cas général, il est difficile de déterminer parmi les paramètres du mouvement du milieu (accélération, vitesse, déplacement absolu) celui qui représente le principal critère des dégâts. Les lois dimensionnelles et les résultats expérimentaux [3] mettent en évidence des lois de variation de ces grandeurs de la forme :

$$AW^{\frac{1}{3}} = k_A (R/W^{\frac{1}{3}})^{n_A}$$

$$V = k_V (R/W^{\frac{1}{3}})^{n_V}$$

$$d/W^{\frac{1}{3}} = k_d (R/W^{\frac{1}{3}})^{n_d}$$

A, V et d représentent l'accélération, la vitesse matérielle et le déplacement absolu du milieu à une distance R d'une explosion souterraine d'énergie W. Le coefficient k dépend du milieu et l'exposant n caractérise la décroissance du paramètre étudié avec la distance.

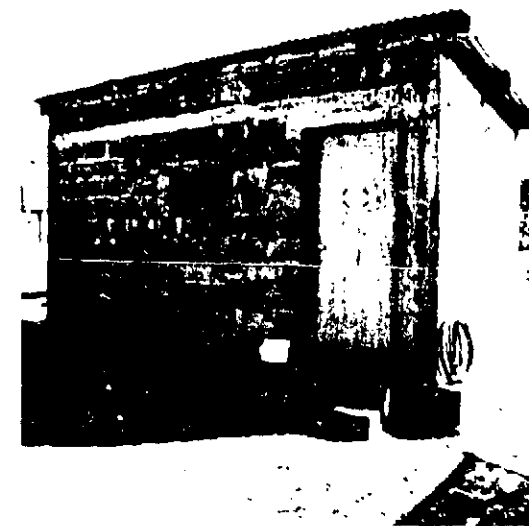
La distance réduite $R/W^{\frac{1}{3}}$ se retrouve dans les trois équations et on l'utilise comme paramètre principal de dégâts. Dans la suite de cet exposé, toutes les distances sont des distances réduites, c'est-à-dire ramenées à une explosion d'énergie une kilotonne. Pour un type de dégât observé à une distance donnée du point de tir on peut donc calculer l'accélération, la vitesse matérielle et le déplacement du milieu qui sont à l'origine de ce dommage. L'expérience acquise au Sahara, ainsi que les études de dégâts effectuées à l'étranger [2] et [4] ont montré que seul le critère de vitesse matérielle pouvait être relié à la nature des dégâts observés. Dans certains cas pourtant, en particulier pour les immeubles situés en zone lointaine, l'accélération et la fréquence du mouvement ont été souvent employées comme paramètres de dégâts. Dans cette étude on a utilisé uniquement le critère de vitesse matérielle radiale. Ainsi par l'intermédiaire de cette grandeur, on peut généraliser les résultats obtenus dans le granite à d'autres milieux.

2. Dégâts sur les constructions du génie civil

a) Bâtiments

Il s'agit de constructions rudimentaires de 5 m x 3 m et de hauteur 3,50 m bâties pour abriter des appareils de mesures. Elles sont constituées d'un socle de béton reposant directement sur le granite ou sur une mince épaisseur de sable. Des poutres en béton constituent l'armature et les murs sont formés par des moellons scellés (20 x 20 x 40 cm). De telles constructions n'ont présenté aucune lézarde à des distances réduites

($R/W^{\frac{1}{3}}$ en $m/kt^{\frac{1}{3}}$) d'environ 1050 m. A cette même distance les plâtres n'ont pas été fissurés (photo P₁). Plus près, à 860 m une poutre s'est déchaussée et une autre s'est fissurée (photo P₂). Un mur de parpaing s'est détaché après une explosion à 690 m (P₃). A 270 m une



P₁ (1050 m)



P₂ (860 m)



P₃ (690 m)



P₄ (270 m)

construction sans armature s'est disloquée (P₄).

La limite de dégâts moyens (fissures très apparentes) peut être établie à 700 m et correspond à une vitesse radiale de la matière de 18 cm/s.

b) Constructions diverses :

Dans les galeries des murs verticaux en moellons de béton scellés orientés vers le tir ont subi des dégâts jusqu'à 165 m. Pour des murs identiques non parallèles à la direction du tir la distance limite a été estimée à 220 m.

Des radiers de béton reposant sur le tout venant, lui-même sur la roche ou sur une mince couche de sable ont présenté à 400 m des fissures au voisinage des équipements mécaniques posés ou ancrés au béton (P₅). A ces effets, s'ajoutent ceux des mouvements des diaclases observés entre 150 et 200 m et qui ont provoqué aussi des fissures.

D'autres dégâts ont été constatés : murettes en moellons lézardées à 125 et 100 m ; effondrement d'assemblage de blocs liés au mortier à 740 m, cisaillement de poteaux verticaux remplis de béton maigre et portant des fers en attente, à 1100 m ; fissuration en tête de remblais à 420 m (le rôle des pluies peut d'ailleurs avoir été important).

3. Dégâts sur les équipements mécaniques

Les matériels observés variaient en dimension de la petite armoire de commande, au groupe à volant de 75 KVA et à la citerne de 50 m³. On les a différenciés par leur mode de fixation au sol ou à la roche.

a) Matériels posés sur le sol :

Dans la zone proche, la plupart du matériel était fixé au sol et on a constaté pour le matériel simplement posé quelques déplacements.

Des armoires lourdes à partir de 700 m n'ont pas été déplacées alors que leurs pieds reposaient directement sur le béton (P₆).

Un ensemble de deux échangeurs-compresseurs sur ski (P₇) et des groupes électrogènes sur pneus avec béquilles abaissées et protégées n'ont pas été endommagés à 620 m (P₈).

Un certain nombre d'observations permet de conclure que pour ce type de matériel la distance limite de dégâts serait de 300 m.

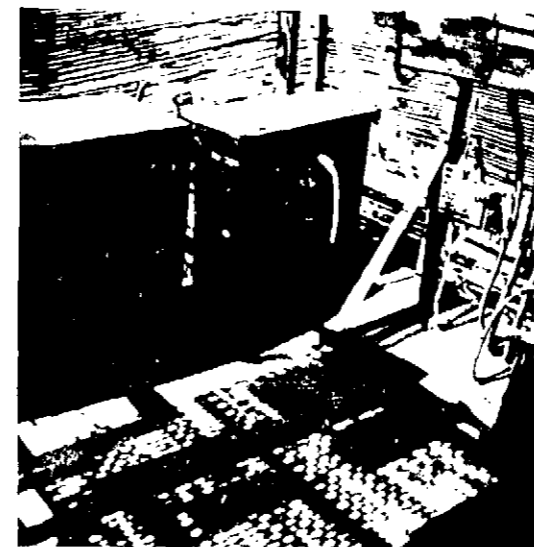
Trois types de réservoirs en métal sur ski (50 000 l), sur dalle de béton (50 000 l) et sur socle de fortune (touret de câble) n'ont pas présenté de dommages à 250 m (P₉, P₁₀ et P₁₁).

Des shelters métalliques sur ski n'ont subi aucun dégât à des distances supérieures à 550 m. Sur coussin gonflé la distance limite pour ce type de matériel est ramenée à 450 m.

b) Matériels fixés au sol ou sur les parois :

b.1 Fixations rigides verticales.

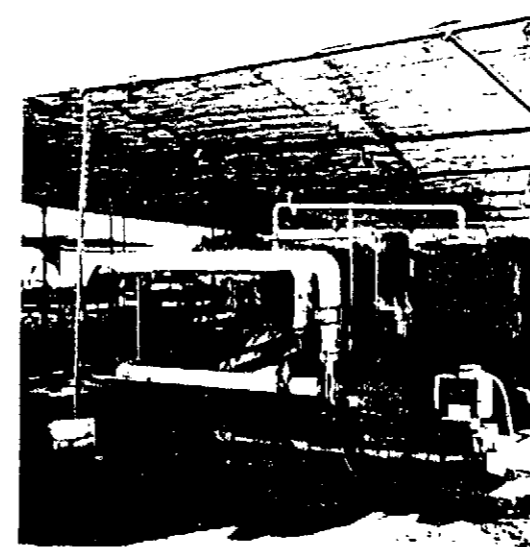
Des alternateurs-groupe à volant de 5 KVA étaient soudés à des cornières, elles-



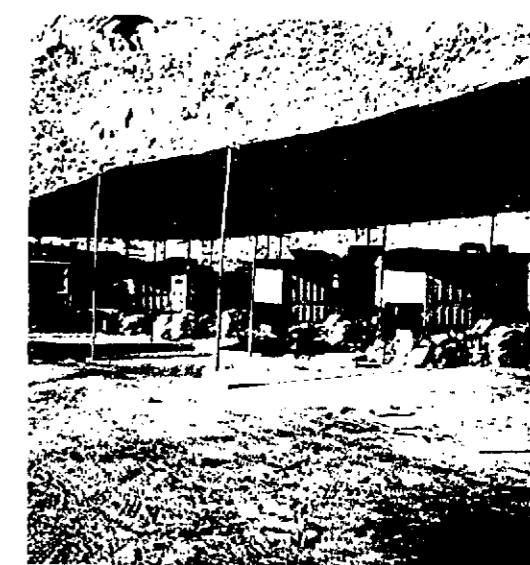
P₅ (400^m)



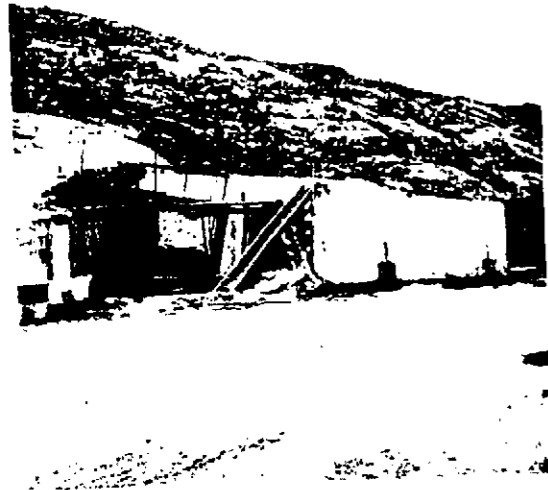
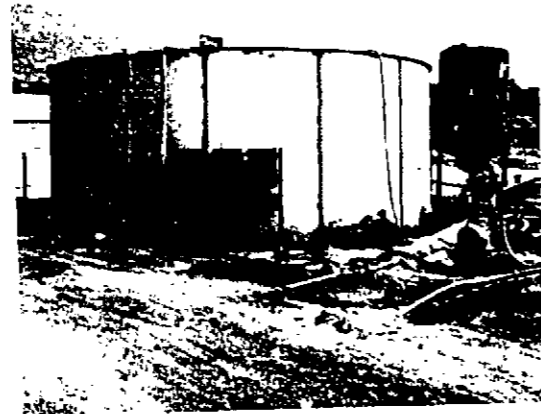
P₆ (690^m)



P₇ (620^m)



P₈ (620^m)

P₉ (260^m)P₁₀ (260^m)P₁₁ (260 m)

mêmes encastrées et boulonnées dans une dalle de béton de 7 à 10 cm d'épaisseur (P₁₂). Les axes des groupes faisaient un angle de 45° avec la direction de tir. Aucun dégât n'a été observé à 180 et 250 m.

Une série de trois groupes à volant de 75 KVA pesant 1,5 T n'a pas été endommagée à 320, 330 et 520 m (P₁₃).

Les tableaux de commande, pieds coulés et encastrés dans le radier de béton, ainsi que les armoires lourdes boulonnées sur leur socle ne présentent plus de dégâts à partir des distances de 150 à 165 m.

Une centrale à béton n'a pas été endommagée à 550 m (P₁₄).

A des distances inférieures, des dégâts systématiques et caractéristiques ont été observés : fissuration des dalles de béton, cisaillement des fixations, déplacement important (P₁₅) et destruction complète du matériel.

Les limites de dégâts légers et importants ont été estimées à 180 m et 115 m.

b.2 Fixations rigides horizontales, matériels fixés aux parois :

Les liaisons se faisaient par boulons d'ancrage dans le rocher sain des galeries le plus souvent par l'intermédiaire de tôle perforée (P₁₆).

Pour plusieurs dizaines de cas, à des distances comprises entre 150 et 270 m et pour une orientation quelconque par rapport à la direction de tirs aucun dégât n'a été constaté. A une distance inférieure à 150 m les matériels fixés aux parois ont été endommagés ou détruits (P₁₇).

c) Dégâts sur divers équipements

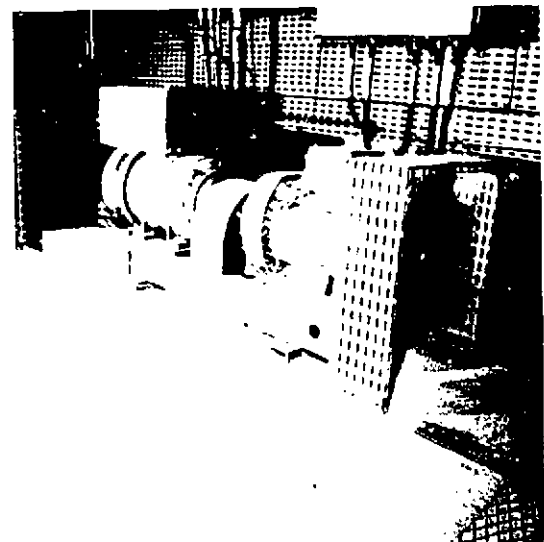
D'une manière générale aucun dommage grave n'a été observé sur les circuits électriques ou électroniques. Des contacteurs décollés à 660 m, des tiroirs sortis de leurs glissières à 110, 150 et même à 730 m ont localement entraîné des dommages qui n'auraient pas eu lieu avec du matériel et des fixations appropriées. La poussière dégagée par les explosions peut être une cause indirecte de dommages pour le fonctionnement des relais et des contacteurs. Les lignes haute tension, type standard haute montagne n'ont subi aucun dégât à 320 m (P₁₈).

4. Représentation graphique des pourcentages de dégâts

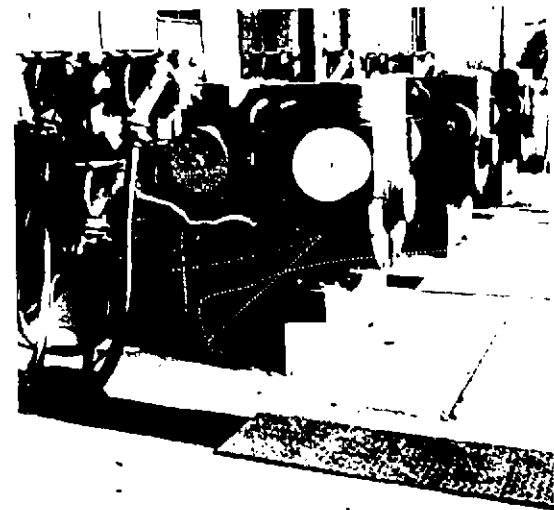
On a déterminé le pourcentage de dégâts à attendre sur les structures, en fonction de la distance réduite. En chaque lieu d'observation et sur plusieurs objets semblables on a calculé le pourcentage d'objets endommagés ; on a ensuite groupé les résultats par intervalles égaux de distance réduite ce qui a permis de construire les courbes (fig. 1 et 2). Pour chaque type de structure, il y a eu 10 à 15 distances d'observation différentes.

Les courbes des figures 1 et 2 permettent de définir pour chaque type de matériel les distances de sécurité à partir desquelles on peut admettre que le matériel sera intact après le passage de l'onde de compression. Le point correspondant à 100 % de structures endommagées définit une distance pour laquelle tout le matériel du type considéré subira des dégâts plus ou moins graves.

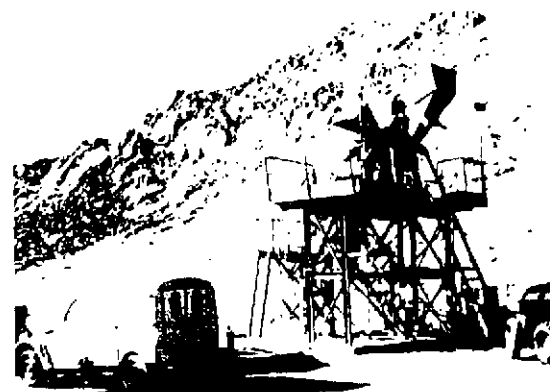
Les profils des courbes très raides, en particulier dans le cas des tableaux de



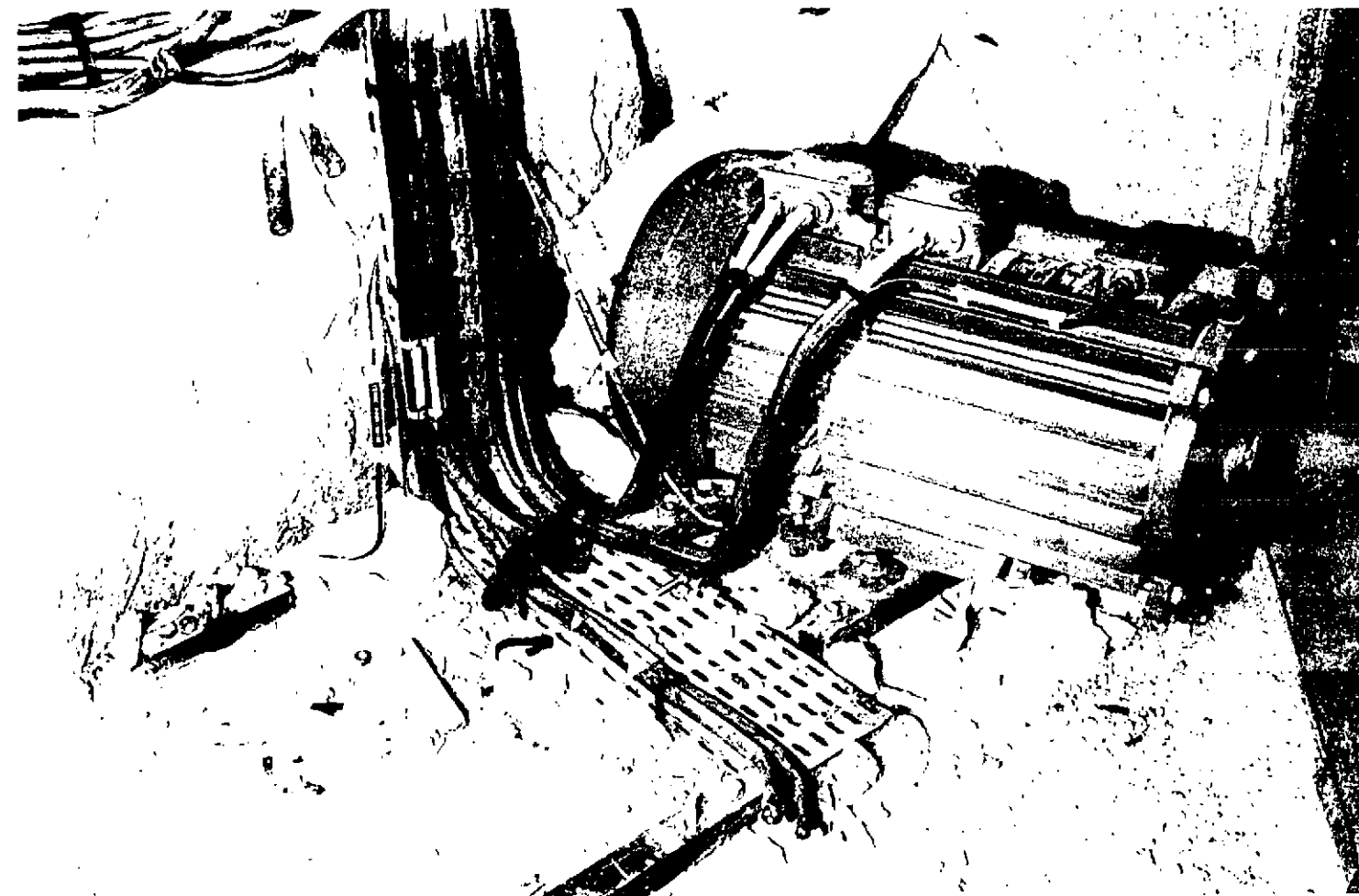
P₁₂ (180^m)



P₁₃ (320^m)



P₁₄ (550^m)



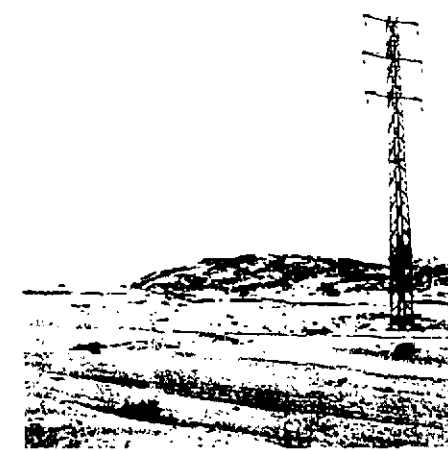
P₁₅ (170^m)



P₁₆ (165^m)



P₁₇ (110^m)



P₁₈₈ (320^m)

commande liés aux parois par boulons d'ancrage, mettent en évidence un seuil de dégât bien défini. La présence de ce seuil s'explique par le mode de fixation aux parois de ce genre de matériel; il est apparent que le mouvement du milieu est intégralement retransmis à la tôle de suspension et que celle-ci cède pour une certaine valeur de vitesse matérielle.

Pour les autres types de matériel ou de constructions étudiés, le seuil est moins marqué et les changements de pente sont plus continus. La présence d'un socle de béton, d'une épaisseur de sable ou d'une suspension entre le granite et la structure provoque la disparition ou l'effacement du seuil de dégâts. La courbe obtenue entre le pourcentage nul et maximal de dégâts est plus étalée. C'est le cas des constructions en moellons et des radiers de béton en galeries. Les distances de sécurité sont alors plus importantes.

Pour des explosions nucléaires souterraines de 1, 10, 100 et 1000 kt dans le granite et des explosions de 10 kt dans le tuf et les alluvions [4], les distances de sécurité pour les différents matériels et constructions peuvent être calculés sur les courbes 3 et 4.

III - COMPARAISON AVEC LES RESULTATS EXPERIMENTAUX ETRANGERS

Des études systématiques de dégâts autour de certains tirs souterrains avec des explosifs chimiques ou nucléaires ont été entreprises à l'étranger et particulièrement aux U.S.A. [5, 6, 7]. Les principaux résultats ont été comparés aux observations effectuées au Sahara sur les tableaux I et II, par l'intermédiaire du critère de vitesse matérielle. Un certain nombre de données sont complémentaires et restent compatibles entre elles. La correspondance entre les résultats est en général bonne. Les distances de sécurité (limite de dégâts) publiées dans ces tableaux et concernant certains matériels sont inférieures aux distances définies d'une façon générale à partir du critère de vitesse matérielle de 10 cm/s (2 à 6 fois plus faibles). Ces différences ont une incidence non négligeable sur l'évaluation financière d'un projet de tir.

Quelques renseignements concernant la zone éloignée (quelques dizaines à quelques centaines de km) complètent ces résultats. En particulier, il a été montré que des vitesses matérielles aussi faibles que 0,03 cm/s représentent le seuil de dégâts pour les très hauts immeubles. Des vibrations correspondant à des vitesses de 0,1 cm/s peuvent provoquer des tassements différentiels dans certains terrains, particulièrement, ceux à forte teneur en eau. Ces modifications de sous-sol provoquent des dégâts plus ou moins importants et en particulier des fissurations de plâtre ou de dalle bétonnée. Des observations effectuées après des tremblements de terre ont montré que des accélérations comprises entre 0,07 g et 0,2 g ont provoqué des tassements de sols saturés avec apparition d'eau, qui se sont traduits par un abaissement du niveau de la surface et quelquefois par des glissements de terrains importants [8].

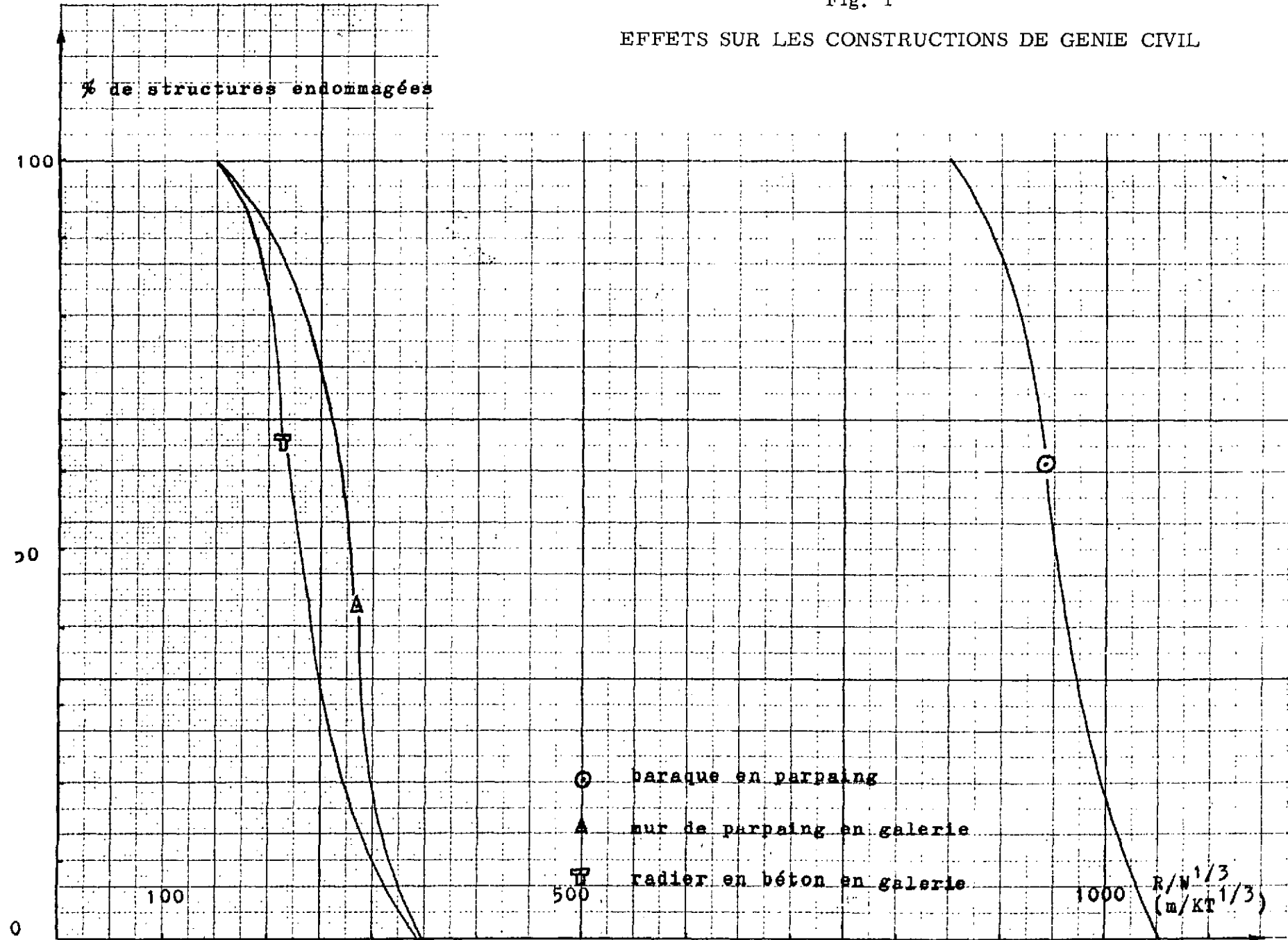
IV - PREVISION DES DEGATS

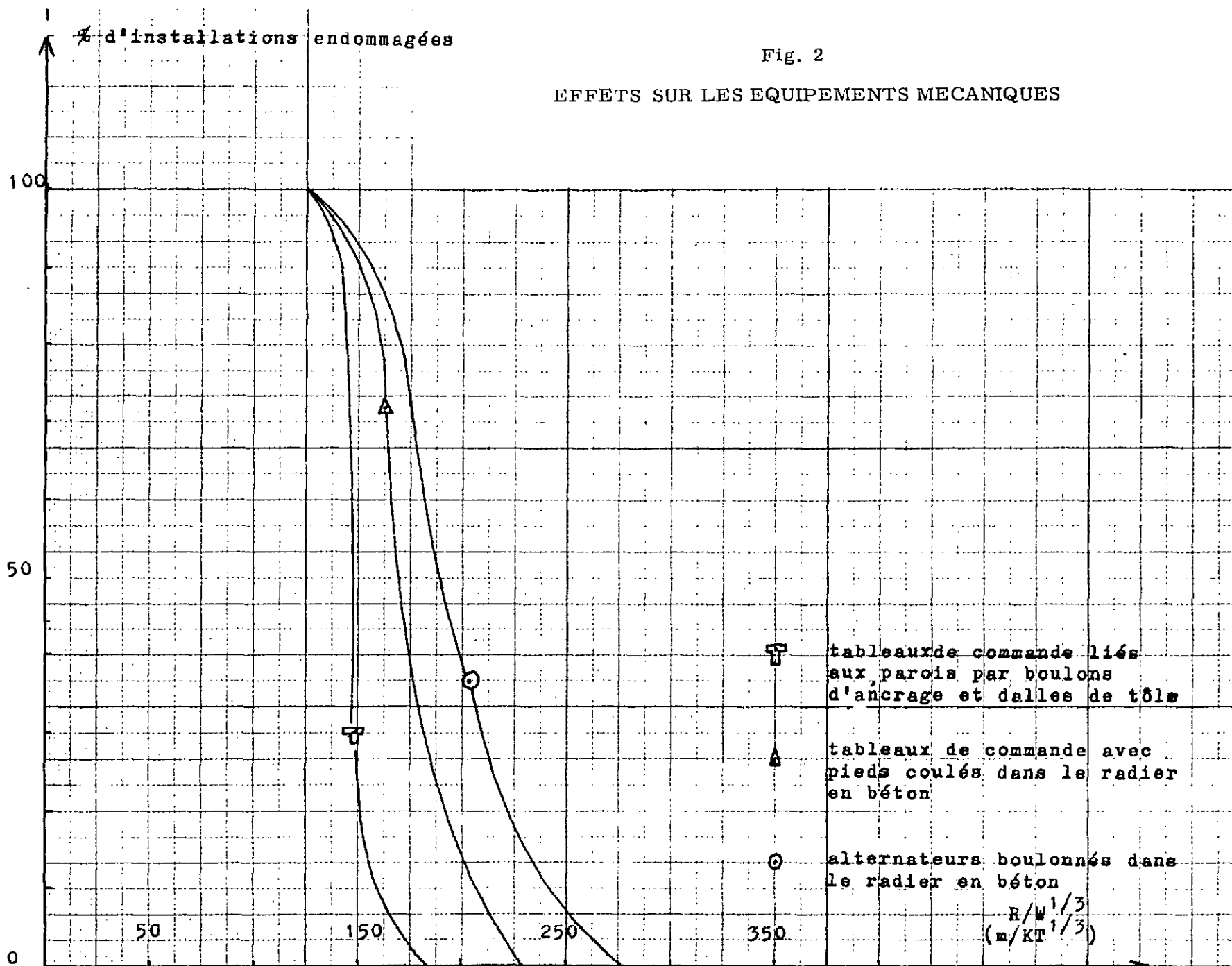
1. Zone intermédiaire

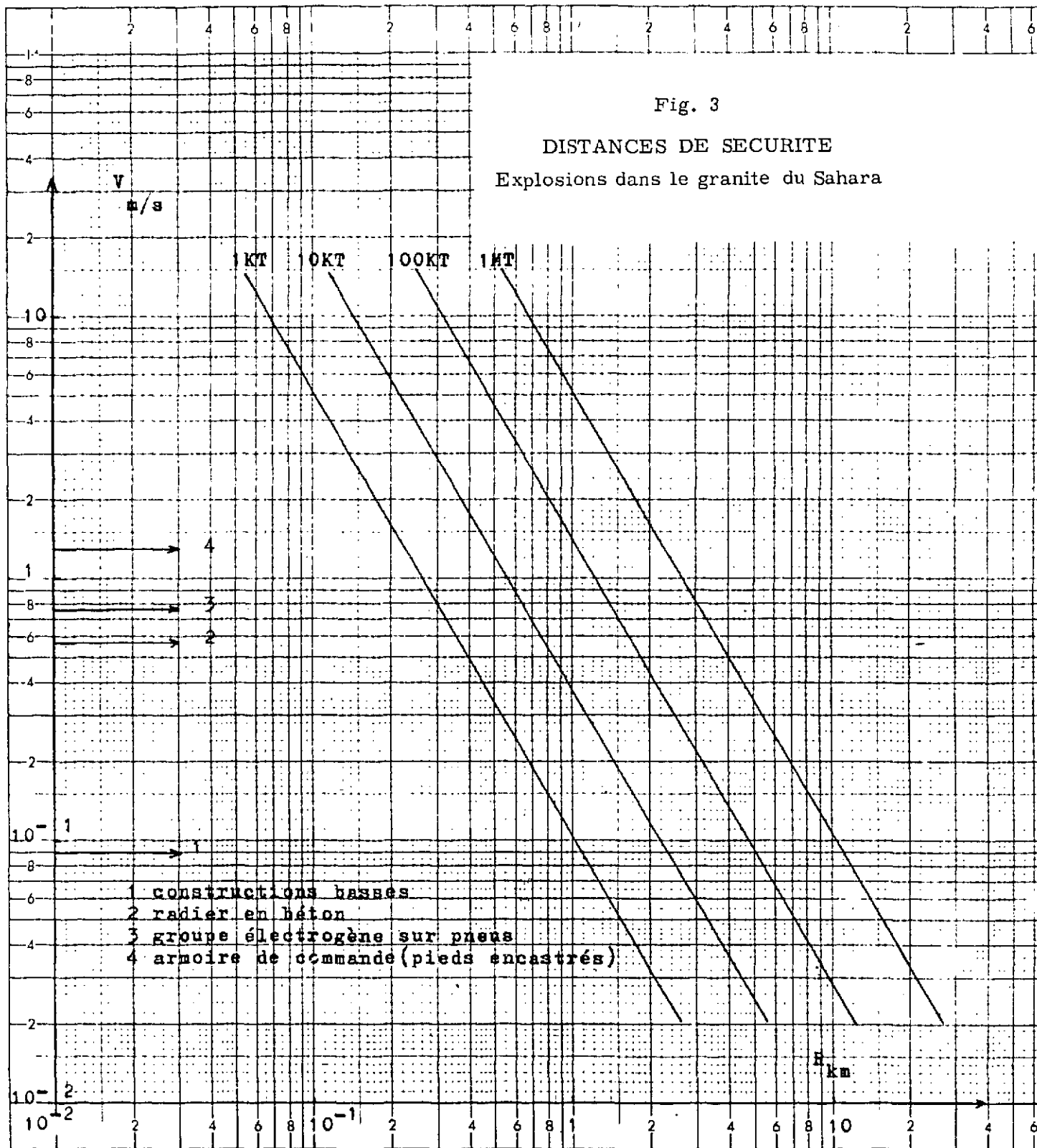
L'expérience acquise au Sahara, complétée par un certain nombre de données

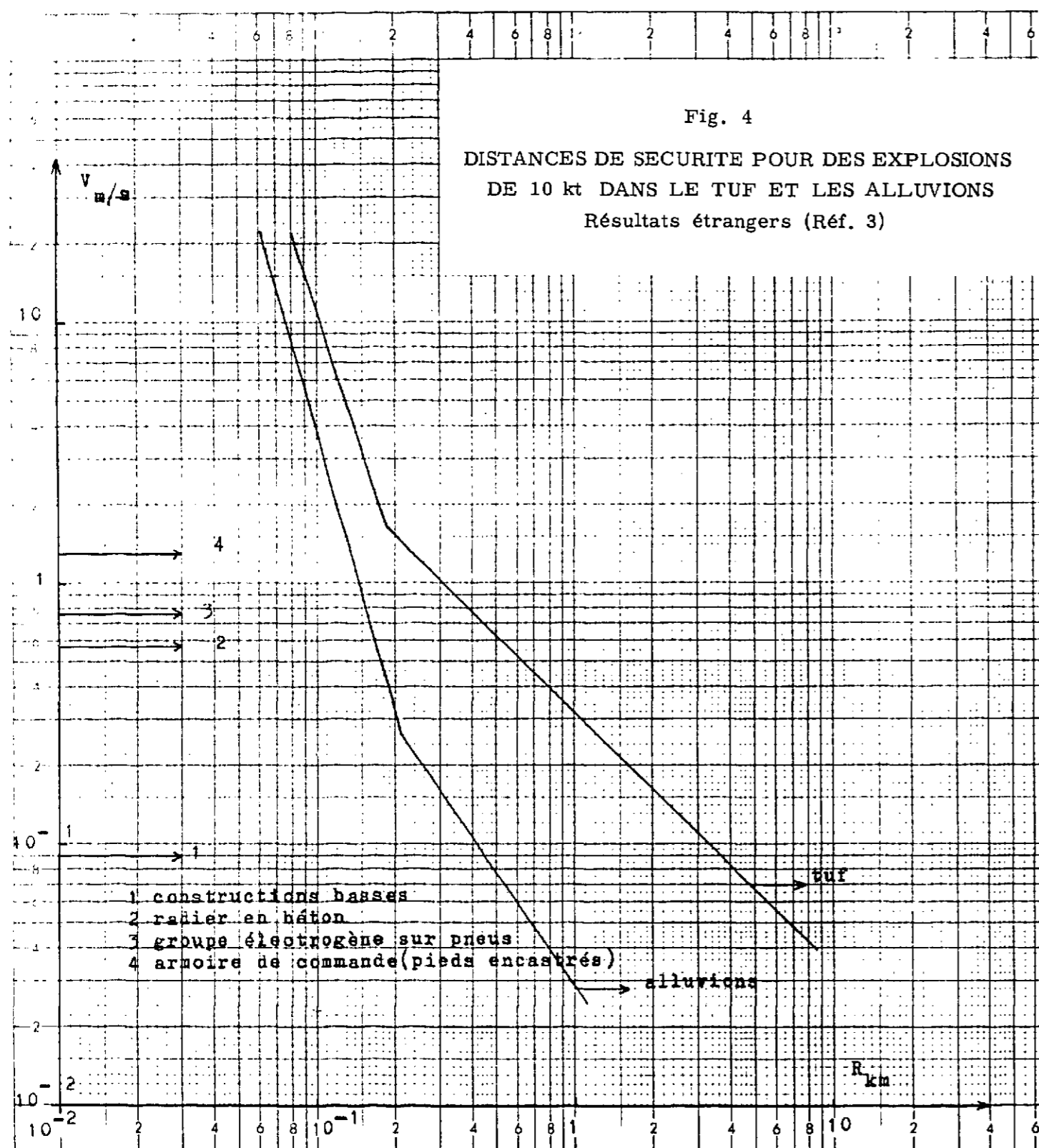
Fig. 1

EFFETS SUR LES CONSTRUCTIONS DE GENIE CIVIL









expérimentales publiées à l'étranger, permettent la prévision des dommages à attendre sur les structures et le matériel situés dans la zone intermédiaire ($0,06 < R/W^{1/3} < 2 \text{ km/kt}^{1/3}$). Les distances de sécurité calculées à partir du critère de vitesse matérielle de 10 cm/s ou bien à partir d'une accélération limite de $0,1 \text{ g}$ semblent suffisantes pour que la récupération du matériel ou la réutilisation des installations soit possible dans la plupart des cas. Des prévisions plus précises peuvent être établies à partir des tableaux I et II qui montrent que le critère de 10 cm/s est trop absolu et conduit pour certain matériel à une surestimation importante de la distance de sécurité.

Un certain nombre de recommandations élémentaires réduisent notablement la probabilité de dommages :

- Les dégâts seront d'autant plus réduits que la structure sera liée au sol. (Les effets dus au rebond de l'objet lui-même sont annulés).
- Les fixations rigides doivent résister aux efforts de flexion et de cisaillement tendant à arracher ou cisailier les attaches.
- Les fixations souples par treillis métalliques, par semelles élastiques de caoutchouc ou de coussin d'air représentent des protections efficaces.
- Dans les galeries, le matériel directement relié aux parois résiste très bien au mouvement matériel du milieu. Les chutes de blocs sur le matériel peuvent être évitées par les filets et le boulonnage des parois de la galerie.

2. Zone lointaine

Les critères de sécurité utilisés en zone intermédiaire se sont révélés insuffisants pour les habitations situées à grandes distances (quelques dizaines à quelques centaines de kilomètres). En effet, des fissurations de plâtre se sont produites à plus de 40 km d'un tir souterrain de 5 kt , alors que la distance de sécurité définie à partir du critère d'accélération de $0,1 \text{ g}$ avait été estimée à $9,5 \text{ km}$ [9].

Il s'est avéré qu'en zone lointaine, les ondes superficielles de basse fréquence (période de l'ordre de la seconde) sont prépondérantes du point de vue des dégâts et les prévisions deviennent délicates du fait que la géologie, la tectonique et la réponse propre du terrain entre la source et le point d'observation, sont des paramètres importants. Une étude géologique et géophysique systématique avant tir est absolument nécessaire pour estimer la transmission et les possibilités de focalisation de l'énergie sismique à longue distance.

Outre les résultats des études générales des effets des vibrations sur les immeubles, il est nécessaire de connaître un certain nombre de facteurs propres aux constructions situées dans la région du tir : type, âge et qualité de la construction, nature des matériaux, qualités des fondations, état des contraintes internes, géologie locale à très faible profondeur (50 cm) et nature de la surface.

Dans le cas d'une explosion de forte puissance, on ne possède que très peu d'informations. Ainsi une récente explosion souterraine de $1,2 \text{ MT}$ a été très nettement ressentie à Las Vegas à 160 km du point de tir, mais aucun dégât apparent n'a été signalé [10]. Actuellement on ne peut, pour ce genre de tir, qu'extrapoler les résultats obtenus par les tirs de faible et moyenne puissance.

Les tirs en série envisagés dans le cas de certaines applications industrielles

TABLEAU I

Limites de dégâts pour les constructions de Génie Civil

	Limites de dégâts				Dégâts importants	
	Résultats Français		Résultats Américains		Résultats Français	
	R _m	Vcm/s	R _m	Vcm/s	R _m	Vcm/s
Bâtiments à courte distance						
- constructions basses en moellons de béton	1050	9			270	90 (effondrement)
- bâtiments résidentiels :						
- vieux bâtiments, fissuration de plâtre,				10		
- bâtiments neufs, fissuration de plâtre,				> 20		
- bâtiments rigides préfabriqués,				> 150		
- bâtiments légers en contreplaqué.				150		
Divers						
- murs de parpaing s'appuyant sur le rocher en galerie	400	45			165	220 (effondrement)
- radier en béton en galerie, fissures	350	60	220	130		
Bâtiments à grande distance						
- vibration propre des immeubles élevés				0,03		
- dégâts par tassement différentiel				0,1		

TABLEAU II

Limites de dégâts pour les équipements mécaniques

	Limites de dégâts				Dégâts importants	
	Résultats Français		Résultats Américains		Résultats Français	
	R _m	Vcm/s	R _m	Vcm/s	R _m	Vcm/s
Equipement mécanique en surface						
- Matériels montés sur ski non lié au sol					50 à 100	
- rupture de la suspension fissure dans la fonte groupe échangeur compresseur lourd	300	80				
- liés fortement au sol						
- rupture de la suspension fissures dans la fonte					100	100
- Groupes électrogènes sur pneus et béquilles	300	80				
- Réservoir en métal						
- construction solide	260	100			500	
- construction légère						80
- Ligne haute tension standard montagne	320	70				
Equipements mécaniques en galerie						
- Alternateurs boulonnés sur béton	275	90			115	400
- Tableaux de commande avec pieds encastrés	225	130			110	440
- Tableaux de commande liés simplement aux parois	175	200			110	440

[11] des explosifs nucléaires, posent, eux aussi, de nombreux problèmes, pour lesquels il n'existe actuellement que très peu de données expérimentales.

V - CONCLUSION

Les explosions nucléaires souterraines effectuées au Sahara dans un massif granitique ont permis de rassembler de nombreux renseignements sur les dégâts subis en zone intermédiaire par les constructions de génie civil, les équipements mécaniques et électriques situés dans les galeries ou en surface. Les résultats obtenus dans le granite peuvent être généralisés à d'autres milieux par l'utilisation des lois de similitude appliquées aux différents paramètres caractérisant le mouvement matériel du milieu.

Plus de cinq cents photographies et environ deux cents observations détaillées ont été réalisées. Diverses photographies ainsi que des exemples précis de dégâts sont publiés dans cette étude. L'ensemble des observations, complété par un certain nombre de résultats étrangers, est résumé sur des courbes statistiques et des tableaux récapitulatifs.

Les dégâts que l'on peut prévoir en zone proche apparaissent relativement peu importants, et dans le cas d'utilisations industrielles des explosifs nucléaires, ils devraient imposer moins de restrictions géographiques que les dégâts en zone éloignée.

En zone lointaine (quelques dizaines de kilomètres), il existe très peu de données expérimentales et la prévision des dégâts est délicate du fait que l'on doit tenir compte d'un nombre important de paramètres qui tiennent à la fois des caractéristiques locales des ondes de surface et des caractéristiques propres aux constructions.

REFERENCES

- [1] F. SUPLOT - S. DERLICH - "Phénoménologie générale des explosions nucléaires souterraines" - Rapport CEA R 3750 - 1968
- [2] F. DELORT - "Les dégâts des explosions nucléaires souterraines sur certaines installations humaines" - 1967 - Communication privée.
- [3] C. GUERRINI - J.L. GARNIER - "Mouvement matériel du milieu environnant une explosion nucléaire souterraine " - Rapport CEA en publication, 1968
- [4] F.M. SAUER - G.B. CLARK - D.C. ANDERSON - "Empirical analysis of ground motion and cratering " - 1964 - DASA 1285 .
- [5] L.J. CAUTHEN - " Survey of shock damage to surface facilities and drilled holes resulting from underground nuclear detonations" - 1964 - UCRL 7964.
- [6] J.A. BLUME and Associates - "Structural response of residential type test structures in close proximity to an underground nuclear detonation" - 1965 - VUF 1030.
- [7] J.A. BLUME and Associates - "Structural response of tall industrial structures to an underground nuclear detonation" - 1965 - VUF 1031.
- [8] ZDENEK BAZANT - "Stability of saturated sand during earthquake" - Proceedings of the third world conference on earthquake engineering 1965 - New Zealand.
- [9] Study related to reports of damage from the Salmon event Project Dribble - NVO - 22 (REV. 1).
- [10] Biggest US underground blast digs vast cave "New-York Time" du 27 avril 1948.
- [11] F. DELORT - Exploitations minières avec des explosions nucléaires souterraines - Revue de l'Industrie Minérale - Octobre 1967.

FIN